

**Ольга Анатольевна Власенко**

Красноярский государственный аграрный университет, врио заведующего кафедрой почвоведения и агрохимии, кандидат биологических наук, доцент, Красноярск, Россия  
E-mail: ovlasenko07@mail.ru

**ЗАПАСЫ И ТРАНСФОРМАЦИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ  
В АГРОЧЕРНОЗЕМАХ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ**

*В работах Валентины Владимировны Чупровой было показано, что основным источником пополнения органического вещества агропочв Красноярского края являются растительные остатки полевых культур, которые попадают в почву не только после уборки урожая, но и в течение всей вегетации. Исследования проведены в 2006–2020 гг. на территории Красноярской и Канской лесостепей, где в структуре почвенного покрова преобладали агрочерноземы глинисто-иллювиальные и криогенно-мицелярные. В качестве объектов были выбраны агроэкосистемы с разной антропогенной нагрузкой. Исследованиями установлено, что средние запасы растительных остатков (корней, надземной и подземной мортмассы) в агроэкосистемах убывают в ряду: естественные луга и сеяные сенокосы (28,5 т/га), многолетние травы (21,0 т/га), пропашные культуры (16,0 т/га), капустные масличные культуры (9,3 т/га), травосмеси (9,0 т/га), однолетние травы (6,8 т/га), зерновые и зернобобовые культуры (2,1–6,5 т/га). В изученных агроэкосистемах сохраняется положительный баланс растительных остатков в почве, за исключением пропашных культур (картофель) и чистых паров. Кинетический потенциал разложения растительных остатков имеет тесную отрицательную связь с соотношением в них углерода к азоту (C/N) и аппроксимируется полиномом второй степени, коэффициент корреляции составил -89 %. Показано, что наиболее узкое отношение C/N характерно для фитомассы сои (18), наиболее широкое – для соломы пшеницы (72) и коней рапса (более 100). Наибольший потенциал разложения характерен для ботвы картофеля и корней сои ( $k = 0,91–0,96$ ). Солома пшеницы крайне медленно разлагается, имеет самый низкий потенциал разложения ( $k = 0,06$ ).*

**Ключевые слова:** запасы растительных остатков, мортмасса, интенсивность разложения, отношение C/N, агрочернозем, полевые культуры, многолетние травы.

**Olga A. Vlasenko**

Krasnoyarsk State Agrarian University, Acting Head of the Department of Soil Science and Agrochemistry, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Krasnoyarsk, Russia  
E-mail: ovlasenko07@mail.ru

**VEGETABLE RESIDUES STOCKS AND TRANSFORMATION  
IN THE KRASNOYARSK REGION FOREST-STEPPE ZONE AGROCHERNOZEMS**

*In the works of Valentina Vladimirovna Chuprova, it was shown that the main source of organic matter replenishment in agrosols of the Krasnoyarsk Region is plant residues of field crops, which enter the soil not only after harvesting, but also during the entire growing season. The studies were carried out in 2006–2020 on the territory of the Krasnoyarsk and Kansk forest-steppe, where the soil cover structure was dominated by clay-illuvial and cryogenic-micellar agrochernozeams. Agroecosystems with different anthropogenic load were selected as objects. Studies have established that the average stocks of plant residues (roots, above-ground and underground mortmass) in agricultural ecosystems decrease in the following order: natural meadows and sown hayfields (28.5 t/ha), perennial grasses (21.0 t/ha), row crops (16.0 t/ha), cabbage oilseeds (9.3 t/ha), grass mixtures (9.0 t/ha), annual grasses (6.8 t/ha), cereals and legumes (2.1–6.5 t/ha). In*

*the studied agroecosystems, a positive balance of plant residues in the soil is maintained, with the exception of row crops (potatoes) and clean fallow. The kinetic potential of decomposition of plant residues has a close negative relationship with the ratio of carbon to nitrogen (C/N) in them and is approximated by a polynomial of the second degree, the correlation coefficient was – 89 %. It has been shown that the narrowest C / N ratio is characteristic of the phytomass of soybeans (18), the widest is for wheat straw (72) and rapeseed horses (more than 100). The highest decomposition potential is characteristic of potato tops and soybean roots ( $k = 0.91–0.96$ ). Wheat straw decomposes extremely slowly, has the lowest decomposition potential ( $k = 0.06$ ).*

**Key words:** *stocks of plant residues, mortmass, decomposition rate, C/N ratio, agrochernozem, field crops, perennial grasses.*

Известно, что органическое вещество почвы имеет гетерогенную структуру. Различные компоненты его отличаются по степени устойчивости к разложению и делятся на стабильные и легкоминерализуемые фракции [1, 2]. Легкоминерализуемая часть также неоднородна и включает лабильное и подвижное органическое вещество. Основным источником легкоминерализуемого органического вещества в почве являются растительные и любые другие органические остатки. Таким образом, растительные остатки сельскохозяйственных культур имеют огромное значение для поддержания плодородия пахотных почв. Это прежде всего первоисточник органического вещества, а также источник элементов минерального питания растений. Кроме этого, растительные остатки в пахотных горизонтах улучшают физические, водно-физические и биологические свойства агропочв, повышают их устойчивость [3, 4].

Под чутким руководством Валентины Владимировны Чупровой и при ее активной поддержке на кафедре был собран обширный материал о запасах и продукции растительного вещества, процессах его трансформации, о гумусном состоянии агропочв лесостепной зоны Красноярского края. Последовательно развивая взгляды своего учителя, нами были изучены основные параметры биологического круговорота углерода в агроэкосистемах при разном уровне интенсификации производства, то есть при разных способах обработки почв, применении разных почвозащитных технологий и средств химизации, были изучены различные севообороты и культуры, как традиционные для нашей зоны, так и малораспространенные, но перспективные.

Основная часть исследований была проведена в агроэкосистемах в пределах Красноярской и Канской лесостепей Красноярского края.

В структуре почвенного покрова, изученных агроэкосистем преобладали агроchernоземы, представленные в основном комплексами глинисто-иллювиальных и криогенно-мицеллярных подтипов. Начиная с 2006 г. запасы органического вещества и процессы его трансформации были изучены в агроэкосистемах однолетних (суданская трава, пайза) и многолетних кормовых трав (клевер, люцерна, эспарцет, козлятник), масличных капустных (рапс) и пропашных культур (кукуруза, картофель, подсолнечник), зерновых (пшеница, ячмень, овес) и зернобобовых (соя) в различных севооборотах, естественных лугов, сеяных сенокосов (кострец + люцерна) и паровых полей в качестве контрольных участков [5, 6].

Методы изучения биологического круговорота в свое время были описаны еще в работах Н.И. Базилович [7]. Запасы надземной мортмассы учитывали по четырем срокам в течение вегетации в 4-кратной повторности. Вместе с надземными остатками учитывали запасы подземной мортмассы и корней методом монолитов на глубину 20 см. Подземную мортмассу фракционировали на крупные ( $> 0,5$  мм) и мелкие ( $< 0,5$  мм) остатки.

Определение валового азота в растительных образцах проводили методом Гинзбурга и Щегловой. Определение углерода в растениях – методом Анстета в модификации В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой [8].

В структуре запасов растительного вещества многолетних трав преобладают корни, крупные и мелкие фракции мортмассы. Отличительной особенностью обладает агроэкосистема козлятника восточного, здесь высока доля надземной мортмассы (до 6,5–10,8 т/га), которая формируется благодаря высокой продуктивности данной культуры. При возделывании однолетних кормовых трав увеличивается доля запасов корней

до 3,1 т/га и сокращается доля надземной мортмассы до 1,0 т/га. Возделывание масличных капустных культур сопровождается увеличением крупных растительных остатков в подземном блоке до 4,2 т/га. Отличительной особенностью запасов растительного вещества пропашных культур является очень высокая доля корней, особенно при возделывании кукурузы и подсолнечника (8,4 т/га). А при возделывании карто-

феля увеличивается доля надземной мортмассы (3,2 т/га). Возделывание зерновых культур сопровождается резким сокращением запасов растительного вещества, особенно корней (0,2–0,5 т/га), основную долю составляют подземные остатки и надземная мортмасса в виде соломы (1,3–2,0 т/га). Зернобобовые культуры, такие как соя, значительно увеличивают запасы корней в почвах до 2,9 т/га (рис. 1).

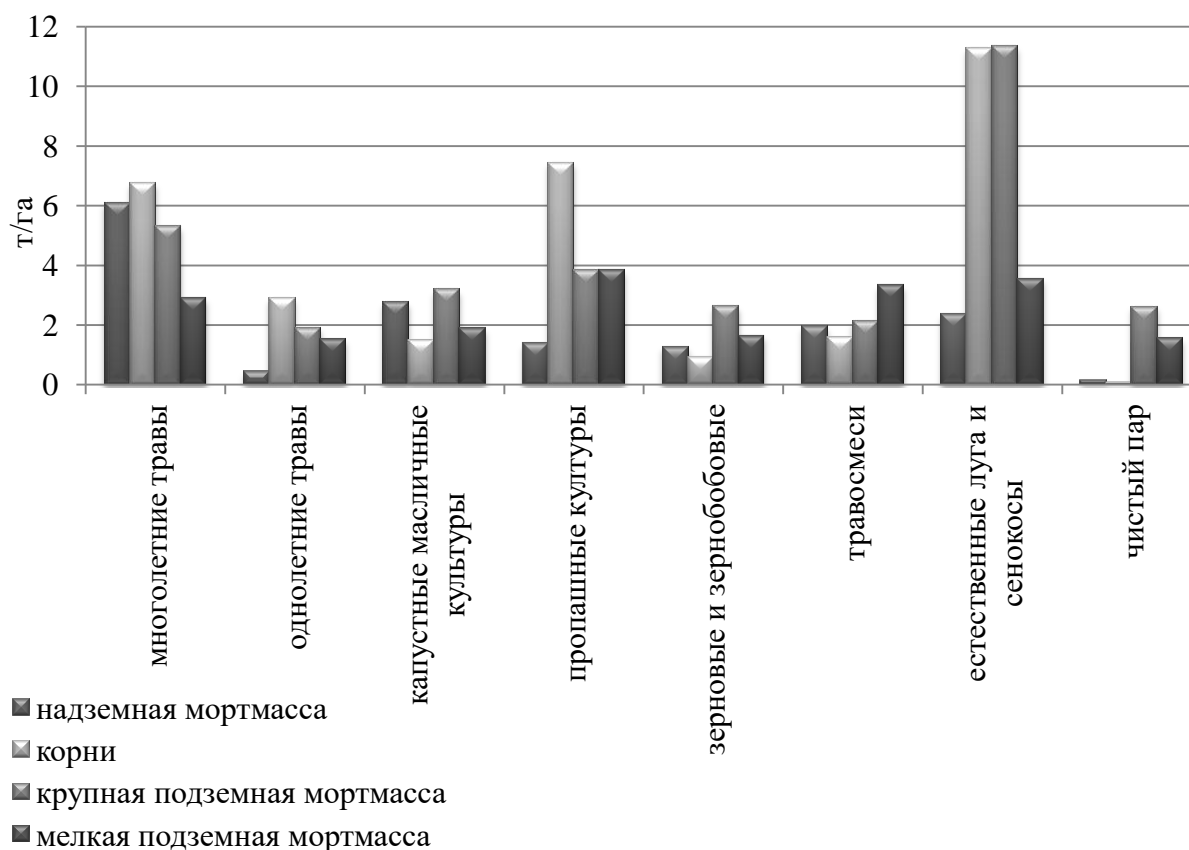


Рис. 1. Структура запасов растительного вещества в агроэкосистемах, т/га

Травосмеси по-разному влияют на структуру запасов растительного вещества. Например, при возделывании рапса и проса велика доля надземной мортмассы (3,3 т/га). В посевах суданской травы и овса преобладала мелкая подземная мортмасса (3,4 т/га). Естественные луга и сенокосы характеризовались наибольшим запасом растительных остатков – до 28 т/га, а чистые пары наименьшим – 2,1 т/га (за счет подземной мортмассы предшествующих культур). Таким образом, в структуре растительного вещества всех агроэкосистем преобладала подземная мортмасса. Исключение составляли

пропашные культуры (подсолнечник, кукуруза) и сенокосы, где велика доля запасов корней.

Часть растительных остатков находилась в почве от предшествующих культур или прежних лет, а другая часть поступала в течение вегетации и после уборки урожая ежегодно. Интенсивность поступления растительных остатков в почву и их разложения рассчитывается с помощью балансовых уравнений, предложенных Титляновой и Шатохиной [9]. В зависимости от агроэкосистемы интенсивность поступления растительных остатков в почву колеблется от 3,5 до 48,6 т/га в год (табл. 1).

## Интенсивность поступления растительных остатков в почву, т/га в год

Культура	Весенний запас мортмассы	Поступило растительных остатков				Всего
		до уборки		после уборки		
		с надземными органами	с корнями	с пожнивными остатками	с корнями	
Чистый пар	1,91	0,71	0,89	–	–	3,5
Пропашные	2,03	2,89	0,32	2,52	0,14	7,9
Зернобобовые	2,74	0,53	0,83	0,91	0,48	5,5
Зерновые	1,24	0,53	0,78	0,97	0,05	3,6
Масличные капустные	4,8	1,7	2,5	2,2	1,9	13,1
Многолетние бобовые	12,9	8,4	8,5	4,5	10,1	44,4
Сенокосы (коострец + люцерна)	14,5	8,8	9,3	3,3	12,7	48,6

Режим функционирования агроэкосистем во многом определяется соотношением интенсивности поступления и разложения растительных остатков. Благодаря современным технологиям, обеспечивающим сохранение растительных остатков на полях, мы видим, что поступление ос-

татков превышает или равно их разложению (рис. 2). Таким образом, в изученных агроэкосистемах, за исключением картофеля и чистых паров, наблюдается положительный баланс растительного вещества в почвах.

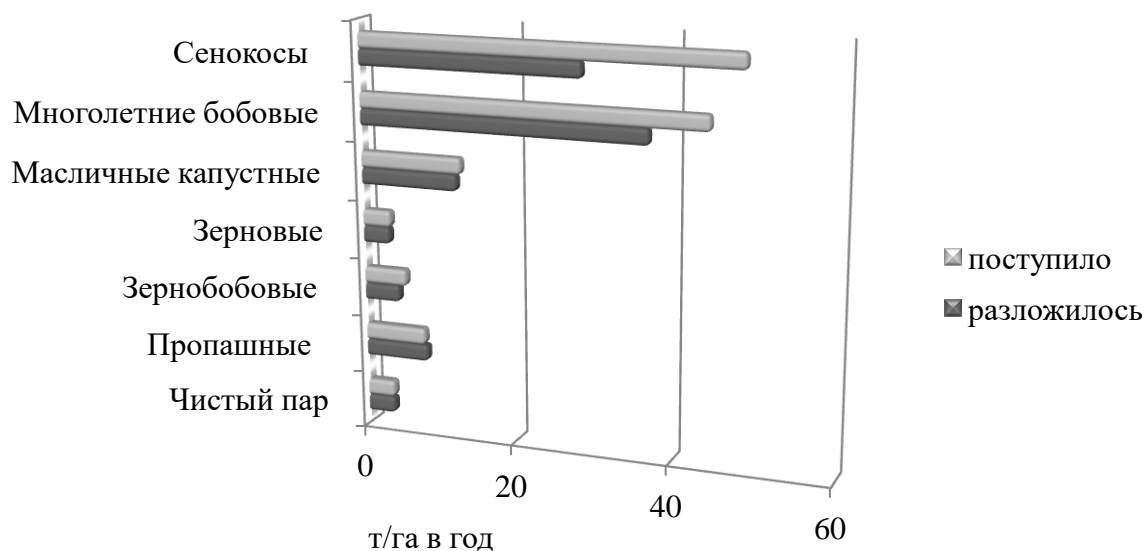


Рис. 2. Соотношение поступления и разложения растительных остатков в агроэкосистемах, т/га в год

Известно, что разложение растительных остатков зависит от их биохимического состава: чем выше содержание азота в их составе, тем интенсивнее они разлагаются [10]. Результаты наших исследований показывают, что фитомас-

са сои имела наименьшее отношение C/N, равное 18. В подземной мортмассе всех агроценозов отношение C/N расширялось до 50–70. Отмечено также очень широкое соотношение C/N в корнях рапса – более 100 (табл. 2).

Кроме химического состава растительных остатков на интенсивность разложения существенное влияние оказывала интенсивность поступления мортмассы в почву. Поступление свежих порций растительного вещества существенно стимулировало процессы разложения, особенно при десикации ботвы картофеля, так за вегетационный период при возделывании картофеля по семенной технологии разложилось около 12,9 т/га надземной мортмассы. Коэффициент корреляции между интенсивностью поступления и разложения растительных остатков составил в среднем 59 %.

Растительные остатки культур обладают разным кинетическим потенциалом разложения и периодом полураспада (табл. 3). Наибольший потенциал разложения и наименьший период полураспада характерны для ботвы картофеля и корней сои в связи с высоким содержанием азота. Солома пшеницы крайне медленно разлагается, имеет самый низкий потенциал разложения. Зависимость константы разложения растительных остатков и отношения C/N хорошо аппроксимируется полиномом второй степени, при этом обнаружена существенная обратная связь ( $r = -0,89$ ) (рис. 3).

Таблица 2

**Отношение C/N в растительных остатках полевых культур**

Фракция растительного вещества	Соя (без семян)	Пар (сорные травы)	Пшеница (солома)	Картофель (ботва)	Рапс
Фитомасса	18	32	54	38	31
Надземная мортмасса	32	36	59	42	36
Крупная подземная мортмасса	31	45	72	54	42
Мелкая подземная мортмасса	47	64	70	69	59
Корни	14	28	37	32	101
X	26,4	41,0	58,4	47,0	53,8
S <sub>x</sub>	18,6	14,3	14,1	14,7	12,2
C <sub>v</sub> , %	70,5	34,9	24,2	31,3	22,7
НСР <sub>05</sub> по фракциям растительного вещества	19,8				
НСР <sub>05</sub> по культурам	18,8				

Таблица 3

**Кинетический потенциал разложения (k, год<sup>-1</sup>) и период полураспада (T<sub>1/2</sub>, лет) мортмассы различных полевых культур**

Звено севооборота	k, год <sup>-1</sup>	T <sub>1/2</sub> , лет
Чистый пар	0,61	1,14
Картофель	0,91	0,76
Соя	0,97	0,72
Яровая пшеница	0,06	7,43
НСР <sub>0,5</sub>	0,12	0,09

Зная величину чистой первичной продукции, количество отчужденного растительного вещества с урожаем, интенсивность поступления и

разложением мортмассы, можно составить баланс растительного вещества (табл. 4).

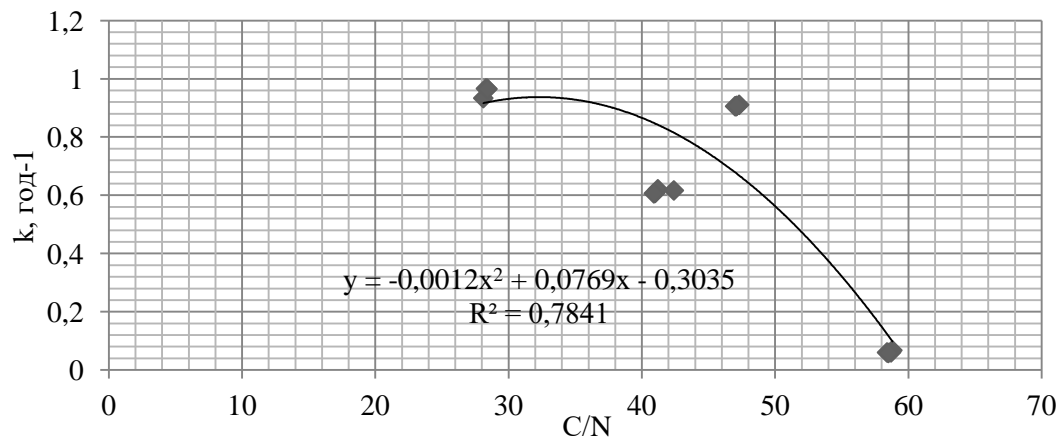
Рис. 3. Взаимосвязь константы разложения ( $k$ , год<sup>-1</sup>) и отношения C/N в мортмассе

Таблица 4

## Баланс растительного вещества в зернопаропропашном севообороте, т/га-период

Составляющие баланса	Звенья севооборота			
	Соя	Пшеница	Чистый пар	Картофель
Запасы мортмассы весной	6,1	2,8	4,2	4,5
Продукция	9,5	9,7	1,4	19,9
В т.ч.: надземная	6,6	7,9	0,8	12,0
подземная	2,9	1,8	0,6	7,9
Отчуждено	2,4	2,5	0	7,2
Поступило в мортмассу за вегетацию	7,1	7,2	1,4	12,7
Разложилось	4,5	2,8	1,4	12,9
Запасы мортмассы осенью	8,7	7,0	4,2	4,3
Баланс	+2,6	+4,2	0	-0,2

Например, в зернопаропропашном севообороте, благодаря применению почвозащитных технологий и сохранению растительных остатков (соломы пшеницы, стерни сои, ботвы картофеля), баланс положительный, накопление растительного вещества в агрочерноземе за ротацию севооборота составило более 6 т/га.

3. Кинетический потенциал разложения растительных остатков имеет тесную отрицательную связь с соотношением в них углерода к азоту (C/N) ( $r = 0,89$ ).

В заключение хотелось бы выразить бесконечную благодарность своему учителю Валентине Владимировне Чупровой.

## Выводы

1. Значительный вклад в формирование растительного вещества в агропочвах оказывает подземная мортмасса. Наименьшие запасы растительных остатков обнаружены в чистых парах за счет предшествующих культур – около 1,4 т/га. Наибольший запас характерен для естественных лугов и сенокосов – 28,5 т/га.

2. Интенсивность разложения растительных остатков имеет прямую положительную связь с интенсивностью их поступления в мортмассу ( $r = 0,59$ ).

## Список источников

1. Чупрова В.В. Запасы, состав и трансформация органического вещества в агропочвах Средней Сибири // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2017. Вып. 90. С. 97–116.
2. Семенов В. М., Козут Б.М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.
3. Семенов В.М., Ходжаева А.К. Агроэкологические функции растительных остатков в почве // Агрохимия. 2006. № 7. С. 63–81.
4. Титлянова А.А. Чупрова В.В. Изменение круговорота углерода в связи с различным

- использованием земель (на примере Красноярского края) // Почвоведение. 2003. № 2. С. 211–219.
5. Власенко О.А., Аветисян А.Т. Запасы растительного вещества в агроценозах многолетних кормовых трав Красноярской лесостепи // Вестник КрасГАУ, 2015. № 10. С. 126–130.
  6. Vlasenko O.A., Khalipisky A.N., Stupnitsky D.N. Vegetable structure balance in agrochernozems and the quality of seed production in the field crops cultivation with elements of soil protective technologies // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. 315(4). С. 052045.
  7. Методы изучения биологического круговорота в разных природных зонах / Н.И. Базилевич, А.А. Титлянова, В.В. Смирнов [и др.]. М.: Мысль, 1978. 182 с.
  8. Агротимические методы исследования почв / под ред. А.В. Соколова. М.: Наука, 1975. 487 с.
  9. Титлянова А.А., Тихомирова Н.А., Шатохина Н.Г. Продукционный процесс в агроценозах. Новосибирск: Наука, 1982. 184 с.
  10. Влияние соотношения С:N на разложение фитомассы кукурузы при изменении содержания эндогенного и экзогенного азота / А.К. Квиткина, А.А. Ларионова, Д.Н. Дударева [и др.] // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 2. С. 78–83.
  2. Semenov V. M., Kogut B.M. Pochvennoe organicheskoe veschestvo. M.: GEOS, 2015. 233 s.
  3. Semenov V.M., Hodzhaeva A.K. Agro`ekologicheskie funkicii rastitel'nyh ostatkov v pochve // Agrohimiya. 2006. № 7. S. 63–81.
  4. Titlyanova A.A. Chuprova V.V. Izmenenie krugovorota ugleroda v svyazi s razlichnym ispol'zovaniem zemel' (na primere Krasnoyarskogo kraya) // Pochvovedenie. 2003. № 2. S. 211–219.
  5. Vlasenko O.A., Avetisyan A.T. Zapasy rastitel'nogo veschestva v agrocenozah mnogoletnih kormovyh trav Krasnoyarskoj lesostepi // Vestnik KrasGAU, 2015. № 10. S. 126–130.
  6. Vlasenko O.A., Khalipisky A.N., Stupnitsky D.N. Vegetable structure balance in agrochernozems and the quality of seed production in the field crops cultivation with elements of soil protective technologies // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. 315(4). S. 052045.
  7. Metody izucheniya biologicheskogo krugovorota v raznyh prirodnyh zonah / N.I. Bazilevich, A.A. Titlyanova, V.V. Smirnov [i dr.]. M.: Mysl', 1978. 182 s.
  8. Agrohimicheskie metody issledovaniya pochv / pod red. A.V. Sokolova. M.: Nauka, 1975. 487 s.
  9. Titlyanova A.A., Tihomirova N.A., Shatohina N.G. Produkcionnyj process v agrocenozah. Novosibirsk: Nauka, 1982. 184 s.
  10. Vliyanie sootnosheniya S:N na razlozhenie fitomassy kukuruzy pri izmenenii soderzhaniya `endogenного i `ekzogenного азота / A.K. Kvitkina, A.A. Larionova, D.N. Dudareva [i dr.] // Teoreticheskaya i prikladnaya `ekologiya. 2017. № 2. S. 78–83.

### References

1. Chuprova V.V. Zapasy, sostav i transformaciya organicheskogo veschestva v agropochvah Srednej Sibiri // Byul. Pochv. in-ta im. V.V. Dokuchaeva. 2017. Vyp. 90. S. 97–116.

